ZUR ZAHNBEWEGLICHKEIT OBERER UND UNTERER FRONTZÄHNE

Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Zahnbeweglichkeit und klinisch-röntgenologischem Befund von Zähnen mit marginaler Parodontitis oder Parodontose

Christian Käufl

1979

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535715_0087

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
(Direktor: Prof.Dr.E.Sonnabend)
der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der
Universität München

ZUR ZAHNBEWEGLICHKEIT OBERER UND UNTERER FRONTZÄHNE

Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Zahnbeweglichkeit und klinisch-röntgenologischem Befund von Zähnen mit marginaler Parodontitis oder Parodontose

Inaugural-Dissertation
Zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Christian Käufl
aus
München
1979

Gedruckt mit der Genehmigung des Fachbereichs Medizin der Universität München

Berichterstatter: Prof.Dr.E.Sonnabend

Dekan: Prof.Dr.W.Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 6. März 1979

UNIV. LEIDEN BIBL.

DISSERTATIONS– UND FOTODRUCK FRANK oHG
8 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2 8 0 9 0 9 0

Meinen lieben Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

I. Einführung 1

II. Literaturübersicht 2
A) Zahnbeweglichkeitsmessung in den vergangenen fünfzig Jahren 2
B) Die physiologische Zahnbeweglichkeit 2
C) Die pathologische Zahnbeweglichkeit und ihre Ursachen 4
D) Der Begriff der Zahnfestigkeit 7
E) Indices zur Beurteilung der Gingivaentzündung 8
F) Index zur Beurteilung der Zahnsteinablagerung 8
G) Das Röntgenbild zur Beurteilung von Parodontalerkrankungen 8

III. Eigene Untersuchungen 10
A) Material und Methodik 10
B) Auswertung der Untersuchungen 16
C) Tabellen und Diagramme 20

IV. Diskussion der Untersuchungsergebnisse 36

V. Zusammenfassung 40

VI. Schrifttum 42

I. Einführung:

In den letzten Jahren gewinnt die intensive Behandlung der Parodontopathien immer mehr an Aktualität, denn seit dem 1.7.1974 kann der Zahnarzt die langwierige Befunderhebung und Behandlung auch über die Krankenkassen der Reichsversicherungsverordnung (RVO) abrechnen. Bei der Erhebung des Befunds stellt sich immer wieder das Problem, dass einerseits hohe Zahnbeweglichkeit mit geringen Knochenabbauerscheinungen und andererseits niedrige Zahnbeweglichkeit mit erheblichem Knochenabbau einhergehen. Fast ebenso verhält es sich bei der Korrelation zwischen Zahnbeweglichkeit und klinischen Symptomen wie Zahnfleischentzündung, Zahnfleischtaschentiefe und Zahnfleischschwund. Es ist bis heute noch eine teils offene Frage, in welchem Ausmass die Zahnbeweglichkeit einzelner Zähne von den Faktoren Alveolarknochenbestand, Gingivaentzündung, Zahnfleischtaschentiefe und vorhandener Zahnsteinmenge abhängen. Neben diesen Faktoren spielen sicher auch noch qualitative Veränderungen des Zahnhalteapparates, das heisst mikroskopische und submikroskopische Veränderungen der Desmodontalfasern und des Zahnfachs eine erhebliche Rolle, die wir jedoch mit konventionellen Methoden nicht erfassen können.
Aufgabe der vorliegenden Untersuchung war es, nach genauer Erhebung des Parodontalbefunds oberer und unterer Frontzähne eine Aussage darüber zu treffen, inwieweit klinischer, röntgenologischer und Zahnbeweglichkeitsbefund korrelieren.

II. Literaturübersicht:

A) Zahnbeweglichkeitsmessungen in den vergangenen 50 Jahren

Die Zahnbeweglichkeitsmessung ist bis heute in der Praxis noch nicht stark verbreitet, da der zeitliche Aufwand und die Belastung des Patienten nach Ansicht vieler Zahnärzte in keiner Relation zum praktischen Nutzen für die Befunderhebung steht. In der Forschung beschäftigt man sich seit 1928 mit der Entwicklung von Zahnbeweglichkeits-Messgeräten. Die ersten Geräte wurden von HEINROTH (1928), ELBRECHT (1939), WERNER (Oszillometer 1942), BEYERLE, DREYFUSS (Vibrometer 1947) und anderen entwickelt (aus SAVDIR 25). MÜHLEMANN (7) hat 1950 sein Makroperiodontometer erfunden. Dieses Gerät, das in der Zwischenzeit geringfügig verbessert wurde, hat sich als einziges bisher in der Praxis durchgesetzt. Die Bedienung des Geräts ist unkompliziert, die Messergebnisse sehr genau und ausserdem ist die Anschaffung des Geräts nicht sehr kostspielig.
Geräte neuerer Zeit arbeiten fast alle auf elektronischer Basis und erfordern daher einen höheren technischen Aufwand.

B) Die physiologische Zahnbeweglichkeit

Die physiologische horizontale Zahnbeweglichkeit bei Belastung setzt sich nach MÜHLEMANN (9, 10, 11, 12, 18) aus drei Phasen zusammen:

1. Bei der Belastung bis 100 g (Gramm) ist ein steiler Anstieg der Beweglichkeit zu erkennen. Während dieser "initialen Phase" orientieren sich die Fasern der dentoalveolären Syndesmose. Der Inhalt des Desmodontalspalts wird verschoben. Diese erste Beweglichkeitsphase wird auch "desmodontale Phase" genannt; man kann direkt auf den Funktionszustand des Desmodonts schliessen.
2. Belasten wir mit Kräften, die grösser als 100 g sind, so finden wir zwischen 100 g und 1500 g einen flacheren Verlauf der Zahnbeweglichkeitskurve als in Punkt 1.

Wir befinden uns in der "intermediären Phase". Da wir in dieser Phase den Funktionszustand des Alveolarknochens beurteilen können, dessen elastisches Verhalten in die Zahnbeweglichkeit eingeht, bezeichnen wir sie auch als "parodontale Phase".

3. Bei Belastungen über 1500 g befinden wir uns in der "terminalen Phase", wir finden keinen Zahnbeweglichkeitszuwachs mehr.

Nach MÜHLEMANN (8, 12) und SCHROTER (27) ist bei Kindern und insuffizienten Gebissen kein klarer Knick zwischen initialer und intermediärer Phase zu erkennen; ausserdem finden wir in der terminalen Phase eine stetige Zunahme der Zahnbeweglichkeit. Die physiologische Zahnbeweglichkeit ist bei Frauen grösser als bei Männern und bei Kindern grösser als bei Erwachsenen und Greisen.

Der Grad der Zahnbeweglichkeit wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst; er ist nicht immer konstant:

Durch Untersuchungen von MÜHLEMANN (15, 16, 19), FRANKE und LINDEMANN (2) wurde gezeigt, dass während der 24 Stunden eines Tages periodische Zahnbeweglichkeits-Schwankungen auftreten, die wahrscheinlich auf das Hypophysen-Nebennierenrinden-System zurückzuführen sind. Auch die Schwangerschaft führt zu einer Erhöhung der Zahnbeweglichkeit. Ausserdem hängt der Grad der Zahnbeweglichkeit stark vom Funktionszustand des betreffenden Zahnes ab.

MÜHLEMANN (16) hat folgende Tabelle erstellt:

Einfluss	Untersuchung	Zunahme %
intern, humoral vegetativ	Tag-Nacht-Rhythmus	10
	Schwangerschaft	60
abnorme Funktion	langfristige Hypofunktion	30
	Parafunktion	35
	langfristige Dysfunktion (Front)	43 ± 15
	langfristige Dysfunktion (Molaren)	50 ± 15
	langfristige Hypo- + Dysfunktion	140
	kurzfristige Dysfunktion	60
	langfristige KFO-Kräfte	35
	künstliche Federn:	
	kurz 4 Stunden	35
	lang orthodontische Feder	110
	lang prothetische Klammer	30 - 110
marginale Irritation	Zahnbeweglichkeitsabnahme nach Zahnsteinentfernung und marginaler Entzündungsrückbildung	10 - 20

MÜHLEMANN (19) und RASPE (22) haben Normwerte für die physiologische und pathologische Zahnbeweglichkeit (ZB) bei 500 g Belastung angegeben. Ich möchte hier die Werte von RASPE zitieren:

	häufigste ZB mm/100	pathologische ZB (obere Grenze) mm/100
Oberkiefer:		
Zahn 3	7-13	18
Zahn 2	11-19,3	24
Zahn 1	12-19,5	24
Unterkiefer:		
Zahn 3	7-11	18
Zahn 1 + 2	13-20,5	24

C) Die pathologische Zahnbeweglichkeit und ihre Ursachen

MÜHLEMANN gibt allgemein den Wert 20 mm/100 als Übergang von physiologischer zu pathologischer Zahnbeweglichkeit an. Wovon hängt nun die Erhöhung der Zahnbeweglichkeit ab? Hierüber ist in der Literatur schon vieles verzeichnet, vollständig ist der Sachverhalt jedoch noch nicht bekannt:

1. Im allgemeinen wird ausgesagt, dass Zahnlockerung und Entzündung voneinander weitgehend unabhängig sind. MARTHALER und ENGELBERGER (4) konnten keinerlei Korrelation zwischen Entzündung und Zahnlockerung feststellen. SON, HOTZ und MÜHLEMANN (28) erkannten, dass nach Absetzen der Mundhygiene der Grad der Entzündungserscheinungen anstieg, die Zahnbeweglichkeit jedoch weitgehend unverändert blieb. Weiterhin geben LEX und SCHRENS (3) an, dass nach Einschleiftherapie bei traumatisierten Zähnen die Zahnbeweglichkeit schnell zurückgeht, jedoch eine signifikante Änderung der marginalen Entzündung nicht zu erkennen ist. RENGGLI und MÜHLEMANN (24) behaupten, "dass die superfizielle Entzündung im marginalen Parodont, im Gegensatz zum okklusalen Trauma, keinen tiefgreifenden Einfluss auf die biophysikalischen Eigenschaften der parodontalen Stützgewebe besitzt".
   Ferner glaubt MÜHLBRADT (6), dass eine Zahnlockerung, sei sie funktionell oder traumatisch bedingt, eine gewisse Intensivierung der Entzündung zur Folge hat,vor allem wenn bereits pathologische Zahnfleischtaschentiefen zu erkennen sind.
2. MÜHLEMANN (17) untersuchte, welchen Einfluss die Bildung künstlicher Parodontaltaschen auf die Festigkeit der Zahnverankerung besitzt. Er stellte fest, dass sich nur eine sehr geringe Erhöhung der Zahnbeweglichkeit ergab. MÜHLBRADT (6) fand bei seinen Versuchen, dass der Lockerungsgrad mit zunehmender Taschentiefe stark anwächst. Er gibt an, dass die Grösse der Taschentiefe ein Mass für den Grad der Reduktion des Zahnhalteapparats ist. Weiterhin fand er, dass der Entzündungsgrad des Parodonts von der Tiefe der Zahnfleischtaschen abhängt.
3. Bekannt ist, dass durch abnorme Belastung (Hyper-, Hypo-, Dys- und Parafunktion) die Zahnbeweglichkeit erheblich erhöht wird. POSSELT und MAUNSBACH (21) prägten den Begriff "Zahnbeweglichkeit durch Okklusion". Sie untersuchten 97 männliche Studenten mit vollbezahntem Gebiss und fanden,

dass bei 98 % ein oder mehrere Zähne eine "Zahnbeweglichkeit durch Okklusion" aufwiesen. 46-50 % aller untersuchten Zähne waren beweglich. MÜHLEMANN, HERZOG und VOGEL (14) erklären die Zahnbeweglichkeitserhöhung durch abnorme Belastung folgendermassen: Der Grad der Zahnbeweglichkeit steht in enger Beziehung zum funktionellen Zustand des Parodonts. Normale Kaufunktion lässt die Zahnbeweglichkeit unverändert, da sie nur Spannungszonen in der Wurzelhaut hervorruft. Abnormer Kaudruck, vor allem Hypo- und Dysfunktion führt zu submikroskopischen und mikroskopischen Veränderungen der Desmodontalfaser und damit zu einer manifesten Zahnbeweglichkeits-Erhöhung. Diese mikroskopischen Parodontalschädigungen kommen also durch okklusale Traumata zustande, welche nicht einer Überbelastung gleichgestellt werden dürfen, sondern durch abnormen Kaudruck (auch Hypofunktion) verursacht werden. VOLLNER, RATEITSCHAK (32), LEX, SCHRENS, (3), RENGGLI und MÜHLEMANN (24) fanden übereinstimmend, dass nach Einschleiftherapie, also nach Beseitigung von Okklusionshindernissen, die zu okklusalen Traumata führten, eine signifikante Festigung der gelockerten Zähne auftritt, nämlich 18-28 % nach 30 Tagen.

4. Welcher Zusammenhang besteht nun zwischen Röntgenbefund und Zahnbeweglichkeit? POSSELT undMAUNSBACH (21) fanden bei ihren Untersuchungen, dass von 649 gelockerten Zähnen nur bei 56 (9 %) ein pathologischer Zahnhalteapparat auf dem Röntgenbild festgestellt werden konnte. Umgekehrt jedoch von 80 Zähnen mit pathologischem Röntgenbefund, in Bezug auf das Parodontium 56 eine "Zahnbeweglichkeit durch Okklusion" aufwiesen. Erhöhte Zahnbeweglichkeit, die im Röntgenbild erkennbar war, korrelierte in 75 % mit einem verbreiterten Desmodontalspalt und 73 % mit verstärkter Lamina dura.

   Auch WALTER (33) ist der Meinung, dass aus dem Knochenabbau nicht auf die Zahnbeweglichkeit geschlossen werden kann. Bei gesunder Gingiva und physiologischer Zahnbeweglichkeit gibt es trotzdem starke Abbauprozesse im Bereich des Septums; andererseits geht eine Zahnbeweglichkeits-

erhöhung mit physiologischem Röntgenbefund einher, (bei Diabetes mellitus, Eiweissmangel, Schwangerschaft u.a.). Die Zahnbeweglichkeit ist nicht nur von der Quantität, sondern auch vor allem von der Qualität des Zahnhalteapparats abhängig.

Mehrere Autoren erforschten das Bestimmtheitsmass der Korrelation zwischen intraalveolärer Wurzellänge und Zahnbeweglichkeit. MÜHLEMANN, WARTMANN und MARTHALER (13) kamen zu dem Ergebnis, dass 30 % der Zahnbeweglichkeit von der Quantität, das heisst von der Masse des vorhandenen Parodontalgewebes abhängen. Heute wissen wir, dass diese Angabe zu niedrig ist. MARTHALER, ENGELBERGER (4) und STOCKLIN (31) kamen zu Bestimmtheitsmassen von 45-49 %. Im Urterschied zu MÜHLEMANN massen sie nicht die Wurzellänge und wieviel von der Wurzel freiliegt, sondern nach einer Methode von SCHEI und Mitarbeitern (26) die absolute intraalveoläre Wurzellänge (Knochenindex). Dabei wird die Länge des Zahnes und der Punkt am Zahn, an dem die Kraft zur Zahnbeweglichkeitsmessung ansetzt, berücksichtigt. Bei unterschiedlich langen Zähnen muss nämlich bei konstanter Kraft und gleichen Parodontalverhältnissen die Rotation verschieden sein, da ja der Hebelarm verschieden lang ist.

D) Der Begriff der Zahnfestigkeit

MARTHALER und ENGELBERGER (4) haben den Begriff Zahnfestigkeit = $\frac{1}{\text{Zahnbeweglichkeit}}$ in die Literatur eingeführt. Sie mussten die Zahnbeweglichkeit transformieren, da sie keine lineare Beziehung zwischen Knochenindex und Zahnbeweglichkeit für niedrige und hohe Werte des Knochenindex herstellen konnten. Sie gingen dabei folgendermassen vor:
Die Zahnbeweglichkeit steigt in dem Mass wie der intraalveoläre Zahnanteil zurückgeht. In erster Näherung würde die Beziehung Zahnbeweglichkeit (ZB) = $\frac{K}{x^2}$ vorliegen. Errechnet man aus dieser Formel eine Grösse, die sich linear zu x verhält, so gelangt man zu $x = \sqrt{\frac{K}{ZB}}$. Der Ausdruck $\sqrt{\frac{1}{ZB}}$ wird als Zahnfestigkeit bezeichnet.

E) Indices zur Beurteilung der Gingivaentzündung

Der Entzündungsgrad der Gingiva kann nach verschiedenen Indices beurteilt werden. Verbreitet ist der von SCHOUR und MASSLER 1947 (aus MÜHLEMANN 20) entwickelte PMA-Index, ein aus dem Zustand der Zahnfleisch-Papille (P), der marginalen Gingiva (M) und der alveolären Gingiva (A) errechneter Index für die Ausdehnung krankhafter Zahnfleischveränderung; er hat vier Entzündungsgrade. Im Gegensatz zum PM-Index (Papille (P), Marginalsaum (M)) oder Sulcus-Blutungs-Index (SBI) von MÜHLEMANN und MAZAR 1958 (aus 20), der sechs Entzündungsgrade enthält (siehe Material und Methodik), beurteilt er das Bluten aus dem Sulcus auf Reizung mit der stumpfen Sonde nicht. Da jedoch das Bluten aus dem Sulcus auf Reiz eine der ersten Entzündungserscheinungen ist, ist der PMA-Index nicht so empfindlich wie der SBI.

F) Index zur Beurteilung der Zahnsteinablagerung

Nach dem Vorbild des grossen schweizerischen Parodontosestatus (23) kann man auch die Zahnsteinablagerung nach ihrer Quantität in fünf Grade unterteilen: 0 = keine
1 = geringe
2 = weniger als 1/2 mm
3 = weniger als 2 mm
4 = mehr als 2 mm

G) Das Röntgenbild zur Beurteilung von Parodontalerkrankungen

Wie kann man nun Parodontal-Erkrankungen auf dem Röntgenbild beurteilen? Eine Übersichtsaufnahme mit dem Orthopantomographen oder Panoramix-Gerät kann nur zur groben Beurteilung des Parodontal-Zustands dienen, da die Verzerrungen auf den Aufnahmen oft zu falschen Befunden führen würden und keine genauen Detailinformationen zu erhalten sind. MATHIS und HIELSCHER (5) empfehlen die Rechtwinkeltechnik als die ideale Methode für röntgenologische Parodontalbefunde. Parallel- (RECKOW) und Rechtwinkeltechnik haben sich jedoch nicht durchsetzen können.

Allgemein gebräuchlich für den Parodontalstatus ist heute die Bissflügelaufnahmetechnik nach RAPER, die am günstigsten mit dem Langtubus ausgeführt wird. Für die Frontzähne empfiehlt SONNABEND (29) (30) Zahnaufnahmen mit limbaler Einstellung, da eine Bissflügelaufnahme wegen der starken Krümmung des Zahnbogens nicht mehr möglich ist. Zahnfilme mit apikaler Einstellung sind wegen ihrer ungenauen Aussage über die Knochenhöhe im Zahnhalsbereich nur brauchbar, wenn bereits sehr starker Knochenabbau mit nur geringem intraalveolären Zahnanteil vorhanden ist. Um die Knochenränder exakt darzustellen, muss eine weiche kontrastreiche Strahlung (40-45 KV) angewendet werden.

WALTER (33) empfiehlt bei der Beurteilung der Röntgenaufnahmen folgendes zu beachten: Aussehen des Kompacta (Lamina dura) und der Spongiosa mit Verlauf und Zahl der Trabekel und deren regelmässige Anordnung; Integrität der radiolucenten Desmodontallinie; Beobachtung des Desmodontalspalts (bei Hyperfunktion ist der apikale Desmodontalspalt erweitert; bei Hypofunktion sind geringer Desmodontalspalt, dicker Wurzelzement und spärliche Spongiosabälkchen zu finden).

Zwei Hauptabbauformen des Knochens sind bekannt:

1. Höhenabbau: Absinken des Knochenrandes der Alveole bei klarem Limbus alveolaris und keinen Knochentaschen. Man unterscheidet zwischen gleichförmigem und ungleichförmigem (stufen-, treppenförmig) Höhenabbau.
2. Seitenabbau: Abbauprozesse seitlich des Zahns mit Knochentaschen. Es gibt tüten-, trichter- und bandförmigen Seitenabbau.

Diese Abbauformen können einzeln oder auch zusammen als Mischform auftreten.

III. Eigene Untersuchungen

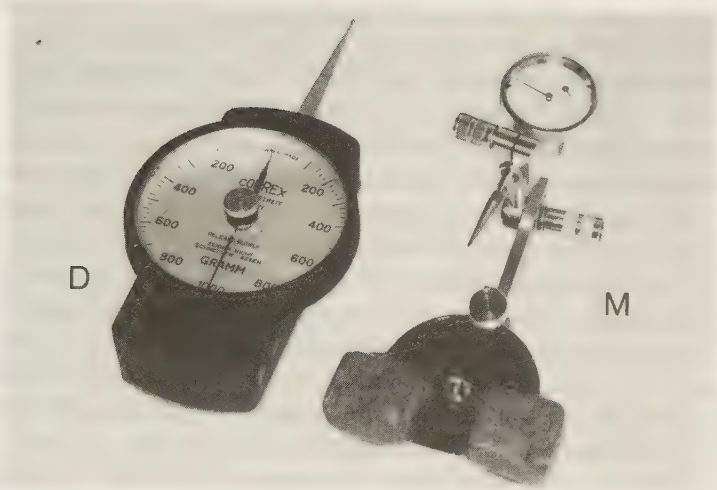
A) Material und Methodik

Untersucht wurden die Front- und Eckzähne von 30 Patienten beiderlei Geschlechts und unterschiedlichen Alters.
Unter den 318 gemessenen Zähnen waren 113 ohne Knochenabbau, 117 mit entzündlichem Knochenabbau und 88 mit Knochenabbau atrophisch-dystrophischer Art zu finden.
Die Messergebnisse dieser drei Gruppen wurden statistisch ausgewertet. Folgende Messdaten waren für uns von Interesse:

1. Die Zahnbeweglichkeit (Messung mit dem Makroperiodontometer von MÜHLEMANN - siehe Literaturstellen 7, 9, 10, 15, 22 -)
2. Der Entzündungsgrad der Gingiva (SBI von MÜHLEMANN -20)
3. Die Zahnfleischtaschentiefe
4. Der Knochenindex (Knochenschwund gemessen nach einer modifizierten Methode von SCHEI und Mitarbeitern -26-)
5. Der Knochenabbau gemessen in Millimeter als Abstand vom Schmelzrand bis zum Knochenrand.

Zur Erweiterung des Gesamtbefunds registrierten wir die Zahnsteinablagerung, eine eventuelle Retraktion der Gingiva und ob ein Okklusionstrauma für den Zahn vorlag.

ad 1 Die Zahnbeweglichkeit wurde mit dem von MÜHLEMANN entwickelten Makroperiodontometer gemessen. (Abb.1)
Die Apparatur besteht aus einer Messuhr und einem Dynamometer. Die Messuhr wird an einem Abdrucklöffel befestigt, der durch einen Aufbiss aus Kerr-Masse an den Seitenzähnen des Patienten fixiert ist. Der Taster der Messuhr wird orthoradial und senkrecht zur Zahnachse eingestellt. Die Tasterspitze kommt 1,5 mm unter der Incisalkante auf der labialen Kronenfläche des zu messenden Zahnes zu liegen. Mit dem Dynamometer kann man den Zahn mit genau dosierten Kräften belasten. Der Ansatzpunkt des Dynamometers sollte so nah wie möglich am Ansatzpunkt des Messuhrtasters liegen. Vor der eigentlichen Messung wurde der Zahn mit 1000 g (Gramm) einmal nach oral und einmal nach labial



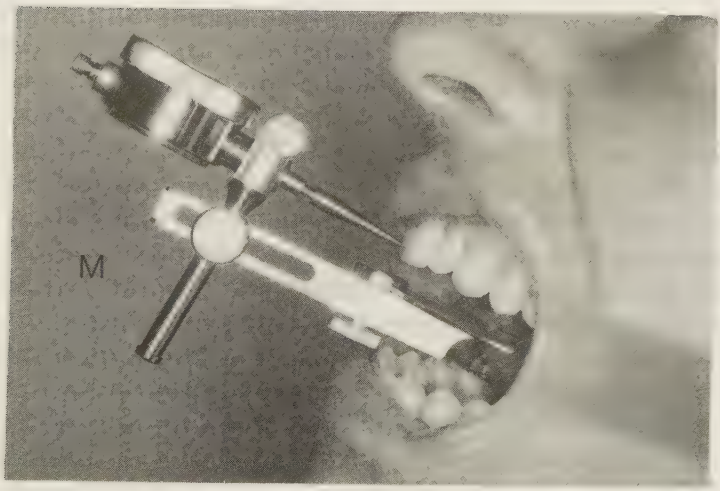


Abb.1: Makroperiodontometer von MÜHLEMANN
oben: Dynamometer (D) und Messuhr (M) mit Abdrucklöffel
unten: Messuhr (M) mit Abdrucklöffel ist durch Aufbiss an den Seitenzähnen fixiert.

vorbelastet, um die Bahnung (das heisst Erhöhung der Zahnbeweglichkeit nach mehrmaliger Belastung) als konstante Grösse in die nun folgende Messung miteinzubeziehen. Danach haben wir den Zahn mit 500 g (intermediäre oder parodontale Zahnbeweglichkeitsphase) aus seiner Ruhelage (R) nach labial bewegt und nach 2-3 Sekunden den Wert des Labialausschlages (L) als Differenz |L-R| abgelesen. Nach Beendigung der Belastung bewegte sich der Zahn zurück in die Ruhelage. Hat er sich nicht in die Ruhelage eingestellt, so wurde diese elastische Nachwirkung (= Hysterese) des Labialausschlages (l) als Differenz |l-R| registriert. Anschliessend wurde der Wert des Palatinal- (bzw. Lingual-) Ausschlages (P) bestimmt, indem wir den Zahn von labial belasteten. Auch hier konnten wir in manchen Fällen eine elastische Nachwirkung (p) registrieren. Die Summe von (L) und (P) wurde als Totalausschlag (T) bezeichnet. Der ganze Messvorgang wurde zweimal pro Zahn durchgeführt, um die Zahnbeweglichkeitswerte so exakt wie möglich zu registrieren.

Die Messung aller Patienten erfolgte vormittags 9.30 Uhr (± 1,5 Stunden), da während dieser Zeit die Zahnbeweglichkeit relativ konstant bleibt. Der Fehler, der sich durch tageszeitliche Zahnbeweglichkeits-Schwankungs-Rhythmen (FRANKE und LINDEMANN -2-) ergeben würde, wurde dadurch sehr klein gehalten.

Die Fehler der eigentlichen Zahnbeweglichkeitsmessmethode wurden von MÜHLEMANN (7, 8, 15) und RASPE (22) ausführlich besprochen. An Hand von Hunderten von Messungen in sogenannten Urmessreihen wurden die Fehlerquellen von ihnen statistisch bearbeitet und sind daher genau bekannt:

a) Es ist sehr wichtig zu beachten, dass der Taster der Messuhr immer senkrecht zur Zahnachse steht und sein Einstellpunkt bei Vergleichsmessungen nicht verändert wird.

b) Die Einstellzeit, das heisst die Zeit vom Beginn der Belastung bis zum Ablesezeitpunkt muss immer gleich bleiben; sie beträgt etwa 2-3 Sekunden.

c) Die Bahnung, das heisst die Erhöhung der Zahnbeweglichkeit nach mehrmaliger Belastung muss als Fehlerquelle ausgeschaltet werden (siehe Seite 11).

d) Die Vorbelastung des Zahnes durch die elastische Kraft des Messuhrtasters ist so gering, dass sie vernachlässigt werden kann.

Insgesamt kann man sagen, dass auf Grund dieser Fehlerquellen der Messmethode die Zahnbeweglichkeit bei 500 Gramm Belastung erst ab ± 3,75 mm/100 signifikant wird.

ad 2 Den Entzündungsgrad der Gingiva haben wir mit einem von MÜHLEMANN (20) modifizierten PM-Index (Entzündung der Papille und des Marginalsaums), dem sogenannten Sulcus-Blutungs-Index (SBI) gemessen. Der SBI unterscheidet sechs verschiedene Grade der Entzündung:

0 = keine Entzündungserscheinungen
1 = Bluten aus der Tasche nach Reiz mit einer stumpfen Sonde
2 = leichte Farbveränderung der Gingiva mit Bluten aus der Tasche
3 = Farbveränderung und leichte Formveränderung (ödematös) der Gingiva
4 = Farbveränderung und starke ödematöse Formveränderung der Gingiva
5 = Ulcerationen der Gingiva

Die Papillen und der Marginalsaum wurden als getrennte Einheiten betrachtet; wir erhalten also vier Einheiten: 2 Papillen mesial und distal und den Marginalsaum oral und vestibulär. Der Entzündungsgrad eines Zahnes kann sich also zwischen den Werten 0 und 20 bewegen.

ad 3 Die Zahnfleischtaschentiefe wurde mit dem allgemein gebräuchlichen Paradontometer (Wironit 1578) mesial und distal des Zahnes gemessen.

ad 4 Der Knochenindex (absolute intraalveoläre Wurzellänge) drückt aus, wieviel Prozent des gesamten Zahnes im Knochen stecken. Er beträgt bei gesundem Parodont ohne Schwund 55-70 %. Die Messmethode von SCHEI und Mitarbeitern wurde dahingehend modifiziert, dass sich der intra-

alveoläre Wurzelanteil nicht auf die Länge der Wurzel bezieht, sondern auf die gesamte Zahnlänge minus 1,5 mm (da dort der Taster der Messuhr ansetzt).
Den Wert des Knochenindex haben wir an Hand von Zahnröntgenaufnahmen mit limbaler und apikaler Einstellung bestimmt. Dabei bedienten wir uns folgenden Messlineals:

Abb.2: Schematische Darstellung des Messlineals zur Feststellung des Knochenindex. In diesem Beispiel wurde der Zahn 21 gemessen. Noch erhaltener Knochen mesial 60 % und distal 50 %. Der Knochenindex beträgt also 55 %.

Auf einer durchsichtigen Folie, die bei der Messung auf das Röntgenbild gelegt wird, sehen wir zwei horizontale, parallele Linien im Abstand von 1,5 mm. Die untere Linie, die Basallinie (b), wird bei der Messung immer an die Incisalkante des zu messenden Zahnes gelegt. Die zweite Linie (a) läuft durch den Punkt, an dem der Taster der Messuhr ansetzt. Von dieser Linie a führt von einem Punkt ein Strahlenbündel mit zehn Strahlen in gleichem Abstand weg. Der Winkel der Strahlen ist nicht genau festgelegt, er sollte jedoch weder zu stumpf noch zu spitz sein, um die Fehler der Messung möglichst gering zu halten. Senkrecht zu den Linien a und b sind in regelmässigen Abständen (ca. 3 mm) mehrere Geraden gezogen. Beim Messen soll die Incisalkante des Zahnes auf die Basallinie zu liegen kommen, und der Apex den Strahl mit dem grössten Winkel berühren. Die Zahnachse verläuft in

Richtung der zur Basallinie senkrechten Geraden. So können wir den intraalveolären Wurzelanteil genau in Prozent ablesen. Folgende Richtlinie bei der Messung wurden beachtet:

a) Der Knochenindex eines jeden Zahnes wurde als Mittel aus den mesial und distal gemessenen Alveolarknochenhöhen bestimmt.

b) Bei trichter- oder tütenförmigem Seitenabbau wurde der tiefste Punkt der Knochentasche gemessen.

c) Ein verbreiterter Desmodontalspalt bei erhaltener Innenkortikalis wurde nicht als Knochentasche betrachtet.

d) Stark radioluzente Interdentalsepten wurden als zerstört betrachtet bis zu jener Stelle, wo der Knochen wieder dichter zeichnete, bzw. eine Lamina dura deutlich war.

ad 5 Weiterhin haben wir den Knochenabbau beurteilt, indem wir auf den Zahnfilmen mesial und distal eines Zahnes den Abstand zwischen Schmelzrand und Alveolarknochenrand gemessen haben. Dabei beachteten wir wieder die in Punkt 4 erwähnten Richtlinien mit Ausnahme von a).

Wie bereits erwähnt wurde das Untersuchungsgut von 318 Zähnen in drei grosse Gruppen unterteilt:

1. kein Knochenabbau
2. entzündlicher Knochenabbau (Parodontitis)
3. atrophisch-dystrophischer Knochenabbau (Parodontosis)

Zur Beurteilung, in welche Gruppe der einzelne Zahn einzuordnen ist, zogen wir das Röntgenbild und klinische Untersuchungsergebnisse über Zahnfleischtaschentiefe und Zahnfleischretraktion zu Rate. Aufgrund von Zahnfleischentzündung und Zahnsteinmenge kann man keine schlüssige Einteilung treffen. Man erkennt nur eine leichte Tendenz, dass bei entzündlichem Knochenabbau die Zahnfleischentzündung im Durchschnitt höher ist als bei atrophisch-dystrophischem oder gar keinem Knochenabbau. Die drei Gruppen weisen allgemein folgende Symptome auf:

ad 1 kein Knochenabbau:
Zahnfleischtaschen sind mesial und distal 2-3 mm tief;
nur selten besteht Zahnfleischretraktion;
der Knochenindex beträgt 55-70 %;
es ist eine gut erhaltene Knochenkortikalis und dichte Spongiosa mit hoher Trabekelzahl vorhanden.

ad 2 Entzündlicher Knochenabbau:
Die Zahnfleischtaschen sind mesial und distal tiefer als 3 mm;
es besteht selten eine Zahnfleischretraktion;
der Knochenindex ist kleiner als 60 %;
die Knochenkortikalis ist kaum zu erkennen, man findet einen zerklüfteten Alveolarknochenrand und oft aufgeweichte Spongiosa;

ad 3 Atrophisch-dystrophischer Knochenabbau:
Die Zahnfleischtaschen betragen mesial und distal 2-3 mm;
man findet meist Zahnfleischretraktion;
der Knochenindex ist kleiner als 60 %;
es ist eine gut erhaltene Knochenkortikalis und meist auch dichte Spongiosa vorhanden. Fast immer tritt gleichförmiger Höhenabbau auf.

Wir untersuchten, inwieweit ein Zusammenhang zwischen Zahnbeweglichkeit und Knochenindex, Zahnbeweglichkeit und Knochenabbau, gemessen in Millimeter, Zahnbeweglichkeit und Taschentiefe und Zahnbeweglichkeit und Zahnfleischentzündung besteht. Um einen Zusammenhang zwischen der Zahnbeweglichkeit und dem Knochenindex feststellen zu können, transformierten wir die Zahnbeweglichkeitswerte zu Zahnfestigkeitswerten (siehe Seite 7) da sich diese besser um eine Regressionsgerade gruppieren als die untransformierten Zahnbeweglichkeitswerte. Zur Prüfung der Abhängigkeit wurde die Methode der einfachen linearen Regression mit anschliessender Berechnung des Korrelationskoeffizienten verwendet. Wir nahmen an, dass zwischen der unabhängigen Variablen (= Knochenindex) und der abhängigen Variablen (= Zahnfestigkeit) eine lineare Verbindung besteht. Wir errechneten also aus den gegebenen Einzelwerten eine Regressions-

gerade und drückten durch den Korrelationskoeffizienten aus, mit welcher Wahrscheinlichkeit die einzelnen Zahnfestigkeitswerte bei gegebenen Knochenindices auf der Gerade liegen. Die Regressionsgerade ist nur im Knochenindexbereich von 10-60 % definiert.

Um eine Abhängigkeit der Zahnbeweglichkeit (ZB) vom Knochenabbau gemessen in Millimeter (x) zu untersuchen, gingen wir folgendermassen vor: Aus der Punktverteilung in einem Diagramm mit der Abszisse (x) und der Ordinate (ZB) konnten wir sehen, dass in erster Näherung die Beziehung $ZB = K' \cdot x^2$ vorliegt. Wir errechneten die Grösse, die sich linear zu x verhält, und kamen zu $\sqrt{ZB} \cdot K = x$. Durch diese Transformation erhalten wir eine günstige Punktverteilung um eine Regressionsgerade. Aus den Einzelwerten von $\sqrt{ZB}$ und x errechneten wir die Regressionsgerade und den Korrelationskoeffizienten. Die Regressionsgerade ist für Knochenabbauwerte von 2,5 - 11,0 mm definiert.

Da in der Literatur (4, 13, 31) weniger der Begriff Korrelationskoeffizient (r) als vielmehr der Begriff Bestimmtheitsmass (= quadrierter Korrelationskoeffizient r^2) zur Angabe von Abhängigkeiten verwendet wird, möchte ich auch den Grad der Korrelation in Bestimmtheitsmassen angeben.

B) Auswertung der Untersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse haben wir nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet.

Aus der Gruppe der gesunden Parodontien wurden die Grenzen bestimmt innerhalb derer sich die Zahnbeweglichkeit und der Knochenindex bewegen (siehe Tab.1). Bei Oberkiefer- und Unterkiefer-Incisivi fanden wir bei 500 g Belastung physiologische Zahnbeweglichkeitswerte von 7,5 - 17,5 mm/100. Die physiologischen Zahnbeweglichkeitswerte der Eckzähne bewegten sich zwischen 7,0 und 12,0 mm/100. Bei allen Oberkieferzähnen fanden wir dabei Knochenindices von 55-65 %, bei Unterkieferzähnen von 57-70 %.

Bei mehrmaliger Messung an verschiedenen Tagen jedoch zur

gleichen Tageszeit zeigte es sich, dass die Zahnbeweglichkeitswerte nicht immer konstant bleiben. Wir fanden Zahnbeweglichkeitsveränderungen von 10-20 % des Ausgangswertes. Diese Schwankungen können auf uns nicht bekannte exogene und endogene (humorale) Reize auf das Parodont zurückgeführt werden; ausserdem ist ein gewisser apparaturbedingter Messfehler zu tolerieren.

Die pathologisch veränderten Parodontien haben wir wie erwähnt in zwei grosse Gruppen unterteilt, nämlich in die mit entzündlichem und die mit atrophisch-dystrophischem Knochenabbau. Statistisch getrennt ausgewertet wurden die Oberkieferzähne 1, 2, 3 und Unterkieferzähne 1 und 2. Die Stichprobenanzahl der Zähne 33 oder 43 war zu gering, um eine statistisch relevante Aussage zu treffen. Ausserdem haben wir zusätzlich die Summe aller gemessenen Zähne und der Oberkiefer- und Unterkieferzähne getrennt untersucht.

Auswertung der Zähne mit entzündlichem Knochenabbau:

Bei der Untersuchung der Abhängigkeit der Zahnbeweglichkeit vom Knochenindex zeigen Oberkiefer- und Unterkieferzähne gleiches Verhalten im Kurvenverlauf und in der Grösse des Korrelationskoeffizienten (Fig.1). Bei Betrachtung aller Zähne kamen wir zu dem Schluss, dass die Zahnbeweglichkeit mit einem Bestimmtheitsmass von 59 % (Tab.2) vom Knochenindex abhängt. Bei der Beobachtung der einzelnen Zahngruppen fiel auf, dass die Regressionsgerade des Eckzahns steiler verläuft als die Geraden der anderen Zähne, das heisst der Eckzahn hat also auch bei pathologischem Parodont bei gleichem Knochenindex eine geringere Zahnbeweglichkeit als die übrigen Zähne (Fig.2-6). Während bei den Incisivi sich das Bestimmtheitsmass der Abhängigkeit zwischen 67 und 86 % bewegte, lag es beim oberen Eckzahn nur bei 42 % (siehe Tab.2).

Bei einer Abhängigkeit von Zahnbeweglichkeit und Knochenabbau, gemessen in Millimeter, zeigt sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen Oberkiefer- und Unterkieferzähnen (Fig.7). Wir kamen zu einem Bestimmtheitsmass von 42 % (Tab.2), wenn wir alle gemessenen Zähne betrachten.

Das Phänomen, dass der Eckzahn fester als die anderen Frontzähne im Kiefer steht, kann auch aus dieser Untersuchung abgeleitet werden (Fig. 8-12). Wie aus Tab.2 zu ersehen ist, liegen die Bestimmtheitsmasse der einzelnen Frontzahngruppen zwischen 41 und 79 %, während der obere Eckzahn nur eine Abhängigkeit von 23 % aufweist. Wir haben auch den Zusammenhang zwischen Zahnbeweglichkeit und Zahnfleischtaschentiefe untersucht. Die Bestimmtheitsmasse sind nur sehr gering und liegen bei den einzelnen Zahngruppen zwischen 10 und 48 % (Tab.2). Eine Tendenz, dass mit steigender Zahnfleischtaschentiefe auch höhere Zahnbeweglichkeitswerte angetroffen werden, kann jedoch nicht abgestritten werden.

Bei einem Vergleich zwischen Zahnbeweglichkeit und Zahnfleischentzündung ist keine statistisch eindeutig sichtbare Korrelation zu erkennen.

Auswertung der Zähne mit atrophisch-dystrophischem Knochenabbau:

Wenn wir die Abhängigkeit der Zahnbeweglichkeit vom Knochenindex in dieser Gruppe betrachten, so sehen wir ebenfalls für Oberkiefer- und Unterkieferzähne gleiches Verhalten in Kurvenverlauf und Grösse des Korrelationskoeffizienten (Fig1). Das Bestimmtheitsmass der Abhängigkeit für alle Zähne errechneten wir mit 25 % (Tab.3), es liegt also sehr deutlich tiefer als bei entzündlichem Knochenabbau. Bei Untersuchung der einzelnen Zahngruppen (Fig.2-6) fanden wir, dass der Kurvenverlauf der mittleren Incisivi im Oberkiefer und seitlichen Incisivi im Unterkiefer relativ flach ist, was auf eine ungünstige Wertverteilung im Sinne einer geringen Streuung der Zahnbeweglichkeitsmesswerte zurückzuführen ist; dadurch erklärt sich auch der kleine Korrelationskoeffizient.

Bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Zahnbeweglichkeit und Knochenabbau in Millimeter erkannten wir auch keinen deutlichen Unterschied zwischen der Summe der Oberkieferzähne und der Summe der Unterkieferzähne (Fig.7). Das Bestimmtheitsmass der Abhängigkeit betrug für alle gemessenen Zähne 9 % (Tab.3). Der Zusammenhang zwischen Zahnbeweglichkeit und Knochenabbau in Millimeter ist also deutlich geringer als bei entzündlichem Knochenabbau. Bei Betrachtung der einzelnen

Zahngruppen (Fig.8-12) fällt wiederum der flache Kurvenverlauf und damit der geringe Korrelationskoeffizient der oberen mittleren und unteren seitlichen Incisivi auf. Der Grund hierfür wurde bereits oben erläutert. Wie bei der Gruppe mit entzündlichem Knochenabbau konnte eine Korrelation zwischen Zahnfleischentzündung und Zahnbeweglichkeit bei atrophisch-dystrophischem Knochenabbau nicht festgestellt werden.

C) Tabellen und Diagramme

Tab.1: Physiologische Zahnbeweglichkeitswerte und Knochenindices der oberen und unteren Schneidezähne und Eckzähne. Angegeben werden Mittelwerte und Grenzwerte (in Klammern) für die einzelnen Zahngruppen.

	Physiologische Zahnbeweglichkeit (mm/100) bei 500 g Belastung		Knochenindex (%)	
Oberkiefer:				
Zahn 1	12,40	(9,5 - 17,5)	59,0	(55 - 62)
Zahn 2	12,03	(7,5 - 16,5)	58,6	(55 - 65)
Zahn 3	8,98	(7,0 - 12,0)	60,0	(55 - 65)
Unterkiefer:				
Zahn 1	11,57	(8,0 - 15,0)	64,3	(60 - 68)
Zahn 2	12,76	(8,5 - 17,0)	61,3	(57 - 70)
Zahn 3	9,19	(7,0 - 12,0)	63,2	(58 - 70)

Tab.2: Regressionsgleichungen y = f(x) mit Angabe des Bestimmtheitsmasses(r^2) und der Stichprobenanzahl (n) bei entzündlichem Knochenabbau. Angegeben werden die Abhängigkeiten der jeweils transformierten Zahnbeweglichkeit (ZB) vom Knochenindex, vom Knochenabbau in Millimeter und von der Zahnfleischtaschentiefe einerseits für die einzelnen Zahngruppen und andererseits für die Summen aller gemessenen Zähne und der Oberkiefer- und Unterkieferzähne getrennt.

	$y=1000/\sqrt{ZB}$	$y=\sqrt{ZB}$	$y=\sqrt{ZB}$
	x=Knochenindex	x=Knochenabbau	x=Zahnfleischtasche
Oberkiefer	y =4,49 x + 15,46	y = 0,46 x + 2,57	y = 0,66 x + 2,17
Zahn 1	n = 22	n = 22	n = 18
	r^2= 0,67	r^2= 0,41	r^2= 0,48
Oberkiefer	y = 4,81 x + 6,31	y = 0,49 x + 2,01	y = 0,47 x + 2,81
Zahn 2	n = 20	n = 20	n = 17
	r^2= 0,83	r^2= 0,64	r^2= 0,10
Oberkiefer	y = 5,68 x - 13,64	y = 0,29 x + 2,32	y = 0,45 x + 1,73
Zahn 3	n = 20	n = 19	n = 18
	r^2= 0,42	r^2= 0,23	r^2= 0,21
Unterkiefer	y = 3,58 x + 44,49	y = 0,47 x + 2,49	y = 0,44 x + 2,84
Zahn 1	n = 22	n = 22	n = 16
	r^2= 0,74	r^2= 0,42	r^2= 0,36
Unterkiefer	y = 4,14 x + 31,96	y = 0,60 x + 1,46	y = 0,24 x + 3,68
Zahn 2	n = 20	n = 20	n = 16
	r^2= 0,86	r^2= 0,79	r^2= 0,10
Summe der	y = 5,38 x - 12,62	y = 0,48 x + 1,96	
Oberkiefer	n = 62	n = 61	
Zähne	r^2= 0,69	r^2= 0,46	
Summe der	y = 3,79 x + 53,90	y = 0,42 x + 2,35	
Unterkiefer	n = 55	n = 55	
Zähne	r^2= 0,49	r^2= 0,38	
Summe	y = 4,55 x + 22,38	y = 0,45 x + 2,15	
aller	n = 117	n = 116	
Zähne	r^2= 0,59	r^2= 0,42	

Tab.3: Regressionsgleichungen y = f(x) mit Angabe des Bestimmtheitsmasses (r^2) und der Stichprobenanzahl (n) bei atrophisch-dystrophischem Knochenabbau. (wie Tab.2)

	$y=1000 / \sqrt{ZB}$	$y=\sqrt{ZB}$
	x=Knochenindex	x=Knochenabbau
Oberkiefer	y = 1,30 x + 176,24	y = 0,05 x + 3,99
Zahn 1	n = 23	n = 23
	r^2= 0,o8	r^2= 0,03
Oberkiefer	y = 5,71 x - 28,95	y = 0,13 x + 3,65
Zahn 2	n = 11	n = 11
	r^2= 0,66	r^2= 0,11
Unterkiefer	y = 5,21 x - 17,19	y = 0,39 x + 2,53
Zahn1	n = 27	n = 27
	r^2= 0,36	r^2= 0,35
Unterkiefer	y = 2,91 x + 95,60	y = 0,03 x + 3,99
Zahn 2	n = 19	n = 19
	r^2= 0,06	r^2= 0,002
Summe der	y = 3,38 x + 79,91	y = 0,08 x + 3,80
Oberkiefer	n = 37	n = 37
Zähne	r^2= 0,24	r^2= 0,04
Summe der	y = 5,64 x - 37,20	y = 0,25 x + 3,05
Unterkiefer	n = 51	n = 51
Zähne	r^2= 0,28	r^2= 0,14
Summe	y = 4,60 x + 17,81	y = 0,18 x + 3,37
aller	n = 88	n = 88
Zähne	r^2= 0,25	r^2= 0,09

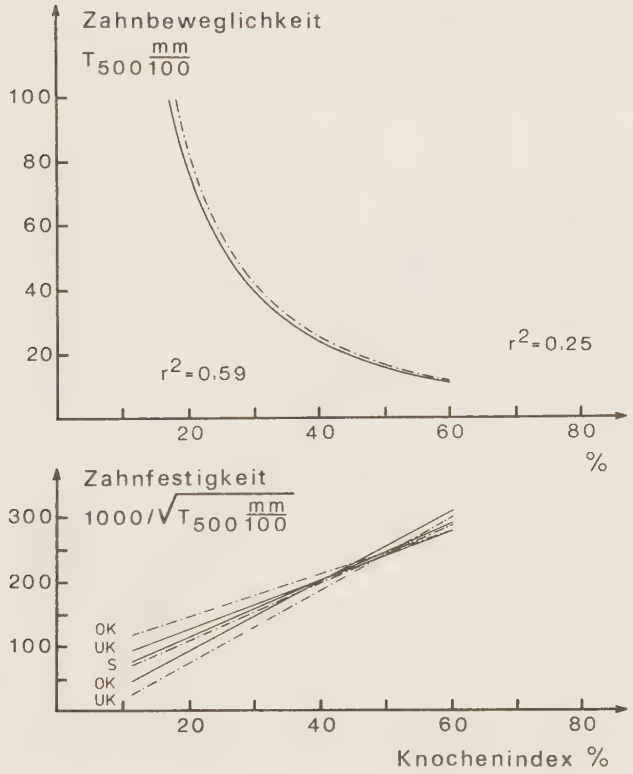


Fig.1:
unten: Regressionsgeraden für die Summe aller gemessenen Zähne (S) und der Oberkiefer- (OK) und Unterkieferzähne (UK) getrennt bei entzündlichem (———) und atrophisch-dystrophischem (-·-·-) Knochenabbau bezüglich Knochenindex (%) und Zahnfestigkeit ($1000/\sqrt{T_{500}}$) bei 500 g Belastung

oben: die aus der Regressionsgeraden für die Summe aller Zähne (S) konstruierte Funktion, die den Zusammenhang zwischen Knochenindex und Zahnbeweglichkeit (T_{500}) wiedergibt.
An der Funktion ist das jeweilige Bestimmtheitsmass (r^2) der statistischen Abhängigkeit angegeben.

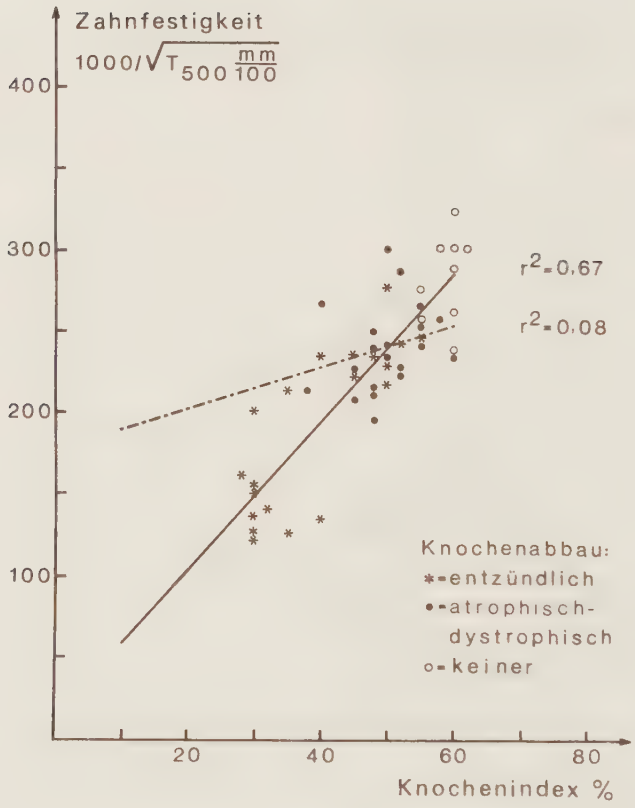


Fig.2:
Regressionsgerade für den Zahn 1 im Oberkiefer bei entzündlichem (———) und atrophisch-dystrophischem (-·-·-) Knochenabbau mit Punktwolke bezüglich Knochenindex (%) und Zahnfestigkeit ($1000/\sqrt{T_{500}}$) bei 500 g Belastung.
An der Geraden ist das jeweilige Bestimmtheitsmass (r^2) der statistischen Abhängigkeit angegeben.

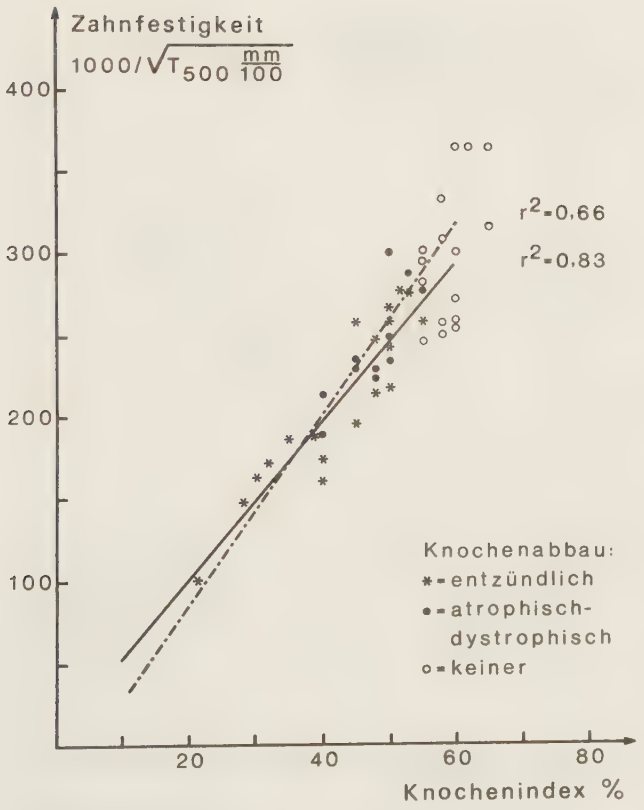


Fig.3:
Regressionsgerade für den Zahn 2 im Oberkiefer bei entzündlichem (———) und atrophisch-dystrophischem (-·-·-) Knochenabbau mit Punktwolke. (wie Fig.2)

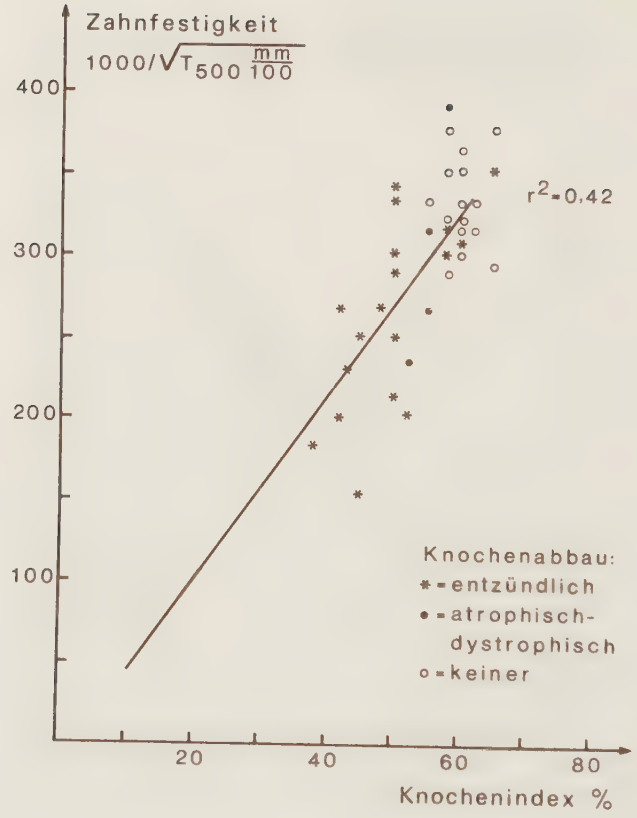


Fig.4:
Regressionsgerade für den Zahn 3 im Oberkiefer bei entzündlichem (———) und atrophisch-dystrophischem (-•-•-) Knochenabbau mit Punktwolke.(wie Fig.2)

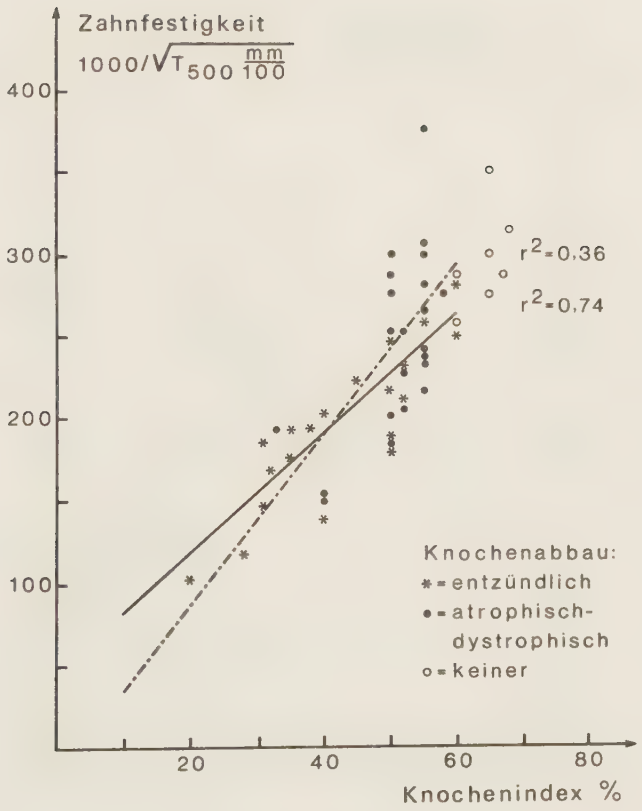


Fig.5:
Regressionsgerade für den Zahn 1 im Unterkiefer bei entzündlichem (———) und atrophisch-dystrophischem (-·-·-) Knochenabbau mit Punktwolke. (wie Fig.2)

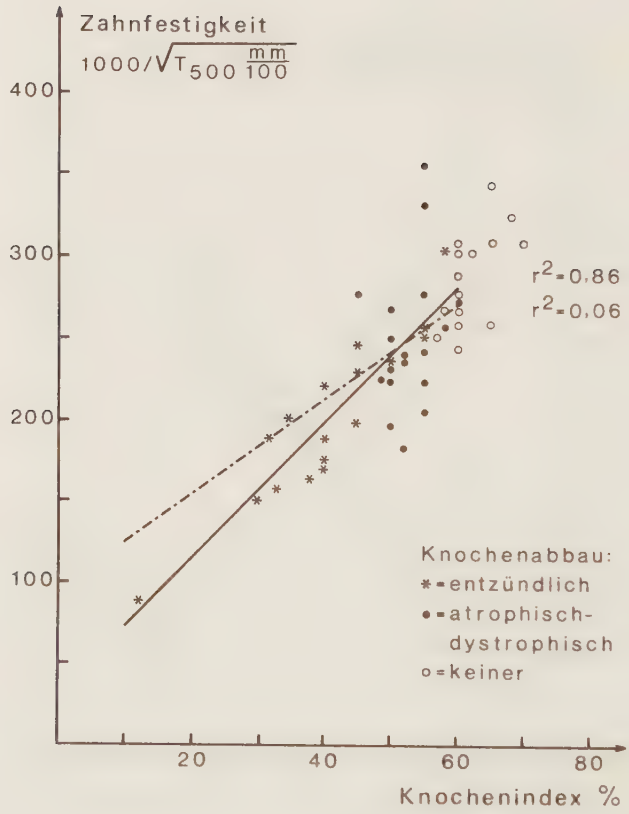


Fig.6:
Regressionsgerade für den Zahn 2 im Unterkiefer bei entzündlichem (———) und atrophisch-dystrophischem (-•-•-) Knochenabbau mit Punktwolke. (wie Fig.2)

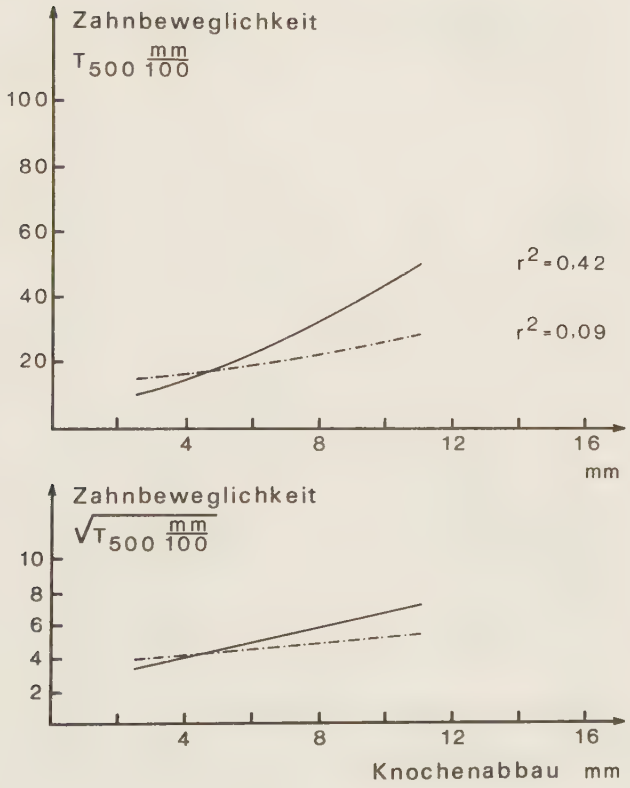


Fig.7:
unten: Regressionsgeraden für die Summe aller gemessenen Zähne bei entzündlichem (———) und atrophisch-dystrophischem (-•-•-) Knochenabbau bezüglich Knochenabbau (mm) und transformierter Zahnbeweglichkeit ($\sqrt{T_{500}}$) bei 500 g Belastung.

oben: die aus der Regressionsgeraden für die Summe aller Zähne konstruierte Funktion, die den Zusammenhang zwischen Knochenabbau und Zahnbeweglichkeit (T_{500}) wiedergibt.
An der Funktion ist das jeweilige Bestimmtheitsmass (r^2) der statistischen Abhängigkeit angegeben.

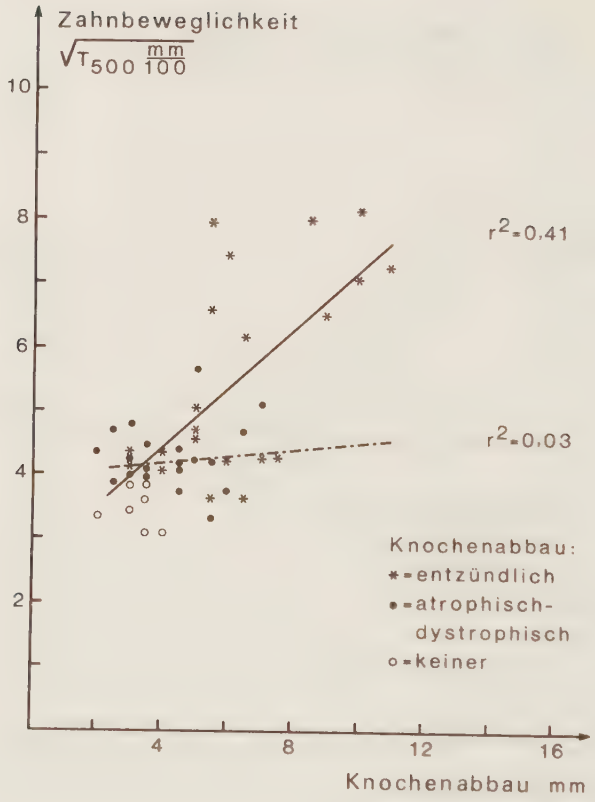


Fig.8:
Regressionsgerade für den Zahn 1 im Oberkiefer bei entzündlichem (———) und atrophisch-dystrophischem (-•-•-) Knochenabbau mit Punktwolke bezüglich Knochenabbau (mm) und transformierter Zahnbeweglichkeit ($\sqrt{T_{500}}$) bei 500 g Belastung.
An der Geraden ist das jeweilige Bestimmtheitsmass (r^2) der statistischen Abhängigkeit angegeben.

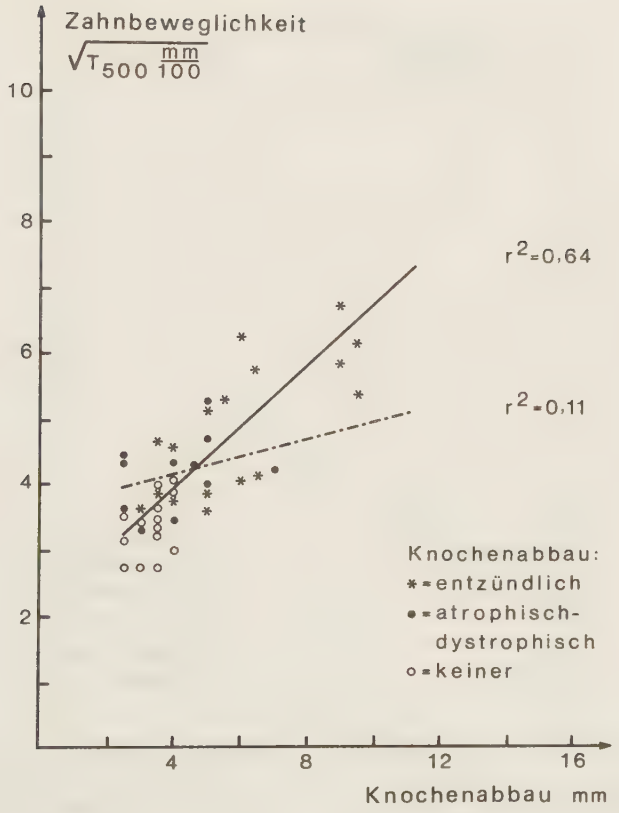


Fig.9:
Regressionsgerade für den Zahn 2 im Oberkiefer bei entzündlichem (———) und atrophisch-dystrophischem (-•-•-) Knochenabbau mit Punktwolke. (wie Fig.8)

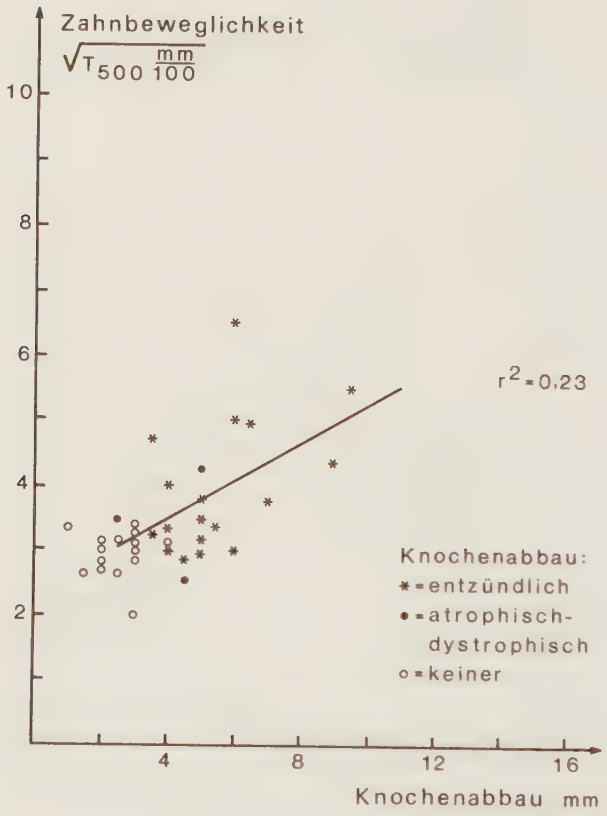


Fig.10:
Regressionsgerade für den Zahn 3 im Oberkiefer bei entzündlichem (———) und atrophisch-dystrophischem (-•-•-) Knochenabbau mit Punktwolke. (wie Fig.8)

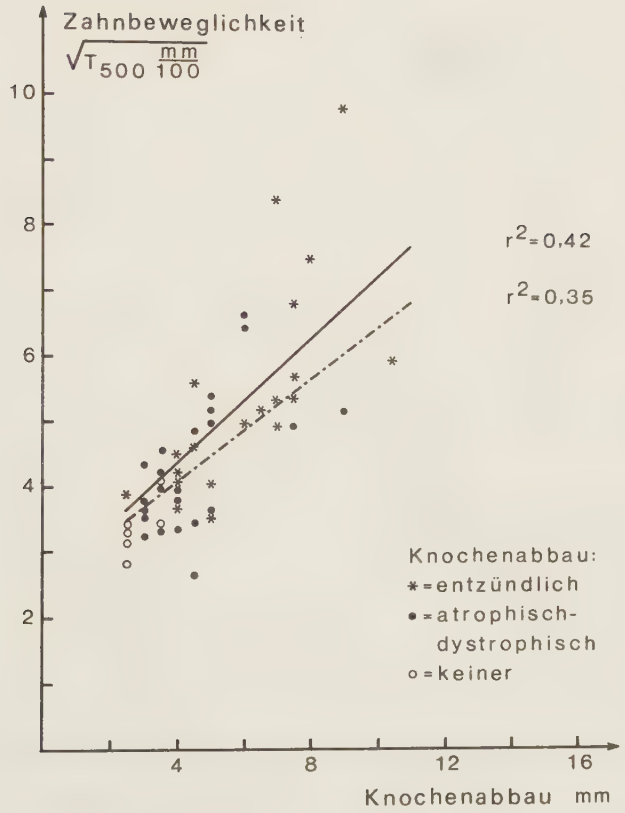


Fig.11:
Regressionsgerade für den Zahn 1 im Unterkiefer bei entzündlichem (———) und atrophisch-dystrophischem (-•-•-) Knochenabbau mit Punktwolke. (wie Fig.8)

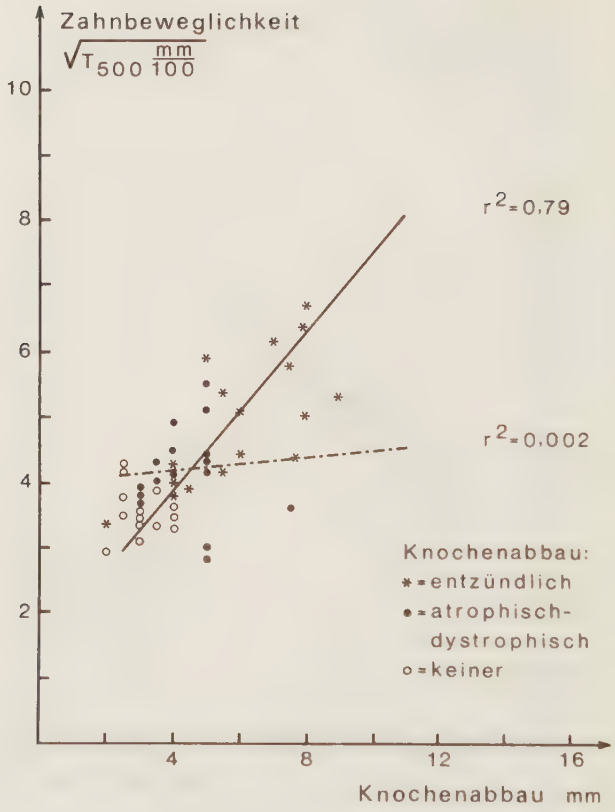


Fig.12:
Regressionsgerade für den Zahn 2 im Unterkiefer bei entzündlichem (———) und atrophisch-dystrophischem (-•-•-) Knochenabbau mit Punktwolke. (wie Fig.8)

IV. Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Als erstes werden die Untersuchungsergebnisse bei gesunden Parodontien besprochen. Es konnte gezeigt werden, dass der Eckzahn eine weitgehend geringere physiologische Zahnbeweglichkeit besitzt als die restlichen Frontzähne. Der Eckzahn ist der Pfeilerzahn des Kiefers. Er ist weitaus seltener parodontal erkrankt als die anderen Frontzähne. Wie die klinische Praxis und Erfahrung zeigt, bleibt bei Lückengebissen der Eckzahn oft bis zuletzt erhalten und kann vorteilhaft für prothetische Massnahmen im Sinne eines Pfeilers für die Verankerung von Brückenkonstruktionen verwendet werden. Seine grosse Festigkeit im Kiefer darf sicher zu einem Teil auf seine kräftige lange Wurzel (grosse Wurzeloberfläche), zum anderen jedoch - worauf später noch eingegangen wird - auf die besondere Qualität des knöchernen und bindegewebigen Zahnhalteapparats zurückgeführt werden.
Weiterhin wurde gezeigt, dass von den untersuchten Zähnen die Unterkieferzähne allgemein einen geringfügig höheren Knochenindex hatten als die Zähne des Oberkiefers. Absolut gesehen steckt der Unterkieferzahn also aufgrund seiner kleinen Krone im Verhältnis zur Wurzellänge tiefer im Knochen als der Oberkieferzahn. Die physiologischen Zahnbeweglichkeitswerte von Unterkiefer- und Oberkieferzähnen liegen jedoch in derselben Grössenordnung. Damit erhält man einen deutlichen Hinweis, dass nicht nur die Knochenquantität, sondern auch die Qualität des Parodontiums einen Einfluss auf die Zahnbeweglichkeit hat. Genauso wie bei physiologischen können wir bei pathologischen Zahnbeweglichkeitswerten kein unterschiedliches Verhalten von Ober- und Unterkieferzähnen in ihrer Gesamtheit betrachtet feststellen. Kurvenverlauf und auch Bestimmtheitsmasse sind jeweils bei allen durchgeführten Untersuchungen für Oberkiefer- und Unterkieferzähne fast identisch.
Man kann also nicht aufgrund der verschiedenartigen anatomischen Struktur von Maxilla und Mandibula unterschiedliche Zahnbeweglichkeitswerte erwarten. Dies ist auch verständlich,

da wir bei 500 g Belastung noch nicht primär auf das Elastizitätsverhalten des Kieferknochens durch Deformation, sondern in erster Linie auf das Elastizitätsverhalten des bindegewebigen Parodonts mit nur geringer Beteiligung des knöchernen Zahnhalteapparats Rückschlüsse ziehen dürfen. Betrachten wir aber die Parodontien der einzelnen Zahngruppen, so sehen wir folgenden deutlichen Unterschied: Das Parodont der Eckzähne verhält sich anders als die Parodontien der Incisivi. Nicht nur, dass auch bei pathologischem Knochenbestand die Zahnbeweglichkeit bei gleichem Knochenindex beim Eckzahn niedriger ist als bei den Schneidezähnen; vor allem ist auch das Bestimmtheitsmass der Abhängigkeit der Zahnbeweglichkeit vom Knochenbestand geringer. Daraus kann man folgern, dass sich der Zahnhalteapparat des Eckzahns von dem eines Schneidezahns unterscheidet. Der Einfluss der Knochenquantität auf die Zahnbeweglichkeit tritt also beim Eckzahn im Vergleich zu den anderen Frontzähnen in den Hintergrund, zugunsten einer besseren Parodontalqualität.

Gehen wir nun darauf ein, inwieweit die Zahnbeweglichkeit vom Knochenbestand abhängt. Es wurde versucht, den Knochenbestand auf zweierlei Arten zu beurteilen; einmal an Hand des Knochenindex und einmal an Hand der Messung des Abstandes zwischen Schmelzrand und Alveolarknochenrand. Beide Untersuchungen führten zu Ergebnissen, die in dieselbe Richtung weisen. Da jedoch bei der Messung des Knochenabbaus in Millimeter einige Störfaktoren vorhanden sind, die bei der Knochenindexmessung wegfallen, fielen diese Ergebnisse eindeutiger und günstiger aus als jene. Wie bereits erläutert berücksichtigt der Knochenindex den Ansatzpunkt der Krafteinwirkung bei der Rotation. Ausserdem wird die gesamte Zahnlänge und auch die intraalveoläre Wurzellänge mit in Betracht gezogen. Zuerst werden daher die Ergebnisse der Knochenindexbewertung diskutiert.

Wie erwähnt, fanden wir, dass die Zahnbeweglichkeit bei entzündlichem Knochenabbau für alle Zähne zu 59 %, bei atrophisch-dystrophischem Abbau zu 25 % vom Knochenbestand abhängt. Der erste Wert würde sogar noch höher liegen, zöge man die Eckzähne nicht mit in Betracht. Da die Stichproben-

anzahl der Eckzähne mit atrophisch-dystrophischem Knochenabbau relativ gering ist, haben sie auf den zweiten Wert nur geringen Einfluss. Woran liegt es nun, dass bei parodontotischen Zähnen die Abhängigkeit der Zahnbeweglichkeit vom Knochenbestand nur so gering, bei parodontitischen jedoch so gross ist? Bei parodontotischem Krankheitsbild wird anscheinend neben der Abnahme der Knochenquantität die Qualität des Parodonts von Fall zu Fall sehr unterschiedlich beeinflusst. Einmal finden wir bei gleichem Schweregrad des Knochenabbaus eine geringe Zahnbeweglichkeit und damit noch ausgezeichnete Parodontalqualität, das andere Mal bereits eine hohe Zahnbeweglichkeit als Folge einer verringerten Parodontalqualität. Der Einfluss der Parodontose auf die Qualität des Zahnhalteapparats ist also in verschiedenen Fällen sehr unterschiedlich, und daher finden wir eine grosse Streuung der Zahnbeweglichkeitseinzelwerte bei gleichem Knochenbestand.

Bei parodontitischem Krankheitsbild andererseits tritt eine relativ enge Korrelation zwischen Knochenabbau und Zahnbeweglichkeit auf. Durch die Entzündung, die von der Zahnfleischtasche ausgehend in die Tiefe dringt, wird anscheinend die Qualität des Parodonts angegriffen. Damit verliert ihr Einfluss auf die Zahnbeweglichkeit an Bedeutung; der Grad der Zahnlockerung hängt nun hauptsächlich vom vorhandenen Knochenbestand ab.

Zusammenfassend kann man somit sagen, dass neben dem unbestrittenen Einfluss der Knochenquantität auf die Zahnbeweglichkeit auch die Parodontalqualität eine grosse Rolle spielt. Wird diese durch irgendwelche Noxen beeinflusst, so tritt eine direkte Abhängigkeit der Zahnbeweglichkeit vom Schweregrad des Knochenabbaus in den Vordergrund.

Die Ergebnisse der Knochenabbaubewertung in Millimeter fallen ziemlich ähnlich aus. Die Bestimmtheitsmasse der Abhängigkeiten liegen hier nur durchwegs niedriger. Daher könnte man die oben gemachten Aussagen nicht eindeutig treffen, hätte man nur Resultate aus der Untersuchung des Knochenabbaus, gemessen als Abstand zwischen Schmelzrand und Alveolarknochenrand zur Verfügung.

Es wurde nun mehrmals der Begriff Parodontalqualität benützt. Man versteht darunter den mikroskopischen und submikroskopischen Zustand des Zahnfachs und der Desmodontalfasern. Er kann durch verschiedene Noxen beeinflusst werden.

Wie bereits ausgeführt wurde, verschlechtern Entzündungserscheinungen des Parodontalapparats die Parodontalqualität; aber auch abnormer Kaudruck, der in erster Linie durch okklusale Gleithindernisse verursacht wird, führt zu Beeinträchtigungen. Ausserdem hat der Hormonhaushalt des Körpers einen grossen Einfluss auf die Parodontalqualität, wie wir aus der Zahnbeweglichkeitserhöhung während der Schwangerschaft und an tageszeitlichen Zahnbeweglichkeits-Schwankungs-Rhythmen sehen können.

Wie schon erwähnt haben wir bei entzündlichem Knochenabbau auch einen geringen Zusammenhang zwischen Zahnbeweglichkeit und Zahnfleischtaschentiefe beobachtet. Man kann annehmen, dass hier kein direkter kausaler Zusammenhang, sondern vielmehr eine Sekundärfolge der Korrelation zwischen Knochenabbau und Zahnbeweglichkeit vorliegt. Denn je ausgeprägter der Knochenabbau, beziehungsweise je tiefer die Knochentaschen sind, desto tiefer sind automatisch auch die Zahnfleischtaschen. Sicherlich fördern tiefe Zahnfleischtaschen die parodontotische Veränderung des Zahnhalteapparats und führen damit auch zur Zahnbeweglichkeitserhöhung. Ein direkter Einfluss dürfte jedoch nicht gegeben sein. Ein Zusammenhang zwischen Zahnfleischentzündung und Zahnbeweglichkeit war nicht zu sehen. Eine der Hauptursachen für die entzündliche Erkrankung des Zahnhalteapparats ist unbestritten die Ablagerung von Konkrementen und Zahnstein, die zuerst zu Zahnfleischentzündung und weitergehend zu Zahnfleischtaschenbildung mit ihren Auswirkungen auf das Parodont führen kann. Die erhöhte Zahnbeweglichkeit ist jedoch erst eine Spätfolge dieses langsam fortschreitenden Krankheitsprozesses. Daher ist es auch verständlich, dass kein funktioneller oder auch nur kausaler Zusammenhang zwischen Zahnbeweglichkeit und Zahnfleischentzündung bestehen kann.

V. Zusammenfassung

Aufgabe der vorliegenden Untersuchung war es, festzustellen in welchem Ausmass die Zahnbeweglichkeit der Schneidezähne und Eckzähne in Oberkiefer und Unterkiefer mit den klinischen und röntgenologischen Untersuchungsergebnissen einer systematischen Parodontaluntersuchung korrelieren.
Untersucht wurden 30 Patienten beiderlei Geschlechts und unterschiedlichen Alters. Die 318 Frontzähne dieser Patienten wurden in drei Gruppen aufgeteilt; wir fanden 113 Zähne ohne Knochenabbau, 117 mit entzündlichem Knochenabbau und 88 mit Knochenabbau atrophisch-dystrophischer Art. Die Zähne dieser drei Gruppen wurden getrennt bearbeitet und statistisch ausgewertet. Das Mass der Zahnbeweglichkeit bestimmten wir mit dem Makroperiodontometer von MÜHLEMANN, wobei wir den betreffenden Zahn mit 500 g belasteten. Der Knochenbestand wurde aus Zahnröntgenaufnahmen mit limbaler und apikaler Einstellung nach zwei Kriterien bestimmt: wir gaben den Knochenindex (= absolute intraalveoläre Wurzellänge) in % und den Abstand zwischen Schmelzrand und Alveolarknochenrand in Millimeter an. Der Entzündungsgrad der Gingiva wurde nach dem von MÜHLEMANN angegebenen Sulcus-Blutungs-Index gemessen. Weiterhin stellten wir die Zahnfleischtaschentiefe, die Zahnfleischretraktion, die Zahnsteinmenge und eventuell vorhandene Okklusionstraumata fest.
Wir kamen nun zu folgenden Ergebnissen:
Gesunde, aber auch parodontal erkrankte Eckzähne verhalten sich bei gleichem Knochenbestand anders wie entsprechende Schneidezähne. Einerseits stehen sie fester im Kieferknochen - ihre physiologische Zahnbeweglichkeit beträgt durchschnittlich 9,1 mm/100 während die der Incisivi 12,2 mm/100 beträgt - andererseits finden wir zwischen Zahnbeweglichkeitswerten und Knochenindex für Eckzähne eine Korrelation von 42 %, für Incisivi dagegen liegt diese zwischen 67 und 86 %. Daraus können wir schliessen, dass Eckzähne neben einem relativ höheren Knochenbestand aufgrund ihrer robusten Wurzel auch über eine bessere Parodontalqualität als Incisivi verfügen. Weiterhin

haben wir den Zusammenhang zwischen Knochenbestand und Zahnbeweglichkeit untersucht. Die Abhängigkeit der Zahnbeweglichkeit vom Knochenindex beträgt bei Parodontitis 59 % (bei parodontotischen Incisivi sogar 67 - 86%); bei Parodontosis liegt sie mit 25 % statistisch signifikant niedriger. Ein starker Einfluss des Knochenbestands auf die Zahnbeweglichkeit ist also nicht abzustreiten. Worauf ist jedoch das unterschiedliche Verhalten von parodontitischen und parodontotischen Zähnen zurückzuführen? Bei entzündlichem Knochenabbau wird durch Entzündungsprozesse die Parodontalqualität, das heisst der Zustand des Zahnfachs samt Desmodontalfasern beeinträchtigt, und damit der Einfluss des vorhandenen Knochenbestands auf die Zahnbeweglichkeit in den Vordergrund gerückt. Bei atrophisch-dystrophischem Knochenabbau wird die Qualität des Zahnhalteapparats von Fall zu Fall unterschiedlich beeinflusst; daher spielt die Knochenquantität gegenüber der Parodontalqualität oft eine geringere Rolle.

Die Zahnfleischtaschentiefe hat keinen direkten Einfluss auf die Zahnbeweglichkeit. Der statistisch festgestellte Zusammenhang von durchschnittlich 25 % ist damit zu erklären, dass ja mit fortschreitendem Knochenabbau (und der damit verbundenen Zahnbeweglichkeitserhöhung) bei Parodontitis auch die Zahnfleischtaschentiefe wächst.

Ein Zusammenhang zwischen Zahnfleischentzündung und Knochenabbau konnte nicht festgestellt werden.

VI. Schrifttum

1. ENGELBERGER, A., RATEITSCHAK, K.H. und MARTHALER, T.M.: Zur Messung des parodontalen Knochenschwundes (Fehlerbestimmung einer Messmethode) Helv.odont. Acta 7, 34-44 (1963)
2. FRANKE, G. und LINDEMANN, F.: Untersuchungen über das Zahnbeweglichkeitsmessgerät nach Mühlemann und dessen Anwendung bei der Kontrolle der balneotherap. Behandlung Dtsch.zahnärztl.Z. 12, 1137-1152 (1957)
3. LEX, Ch. und SCHRENS, H.Th.: Funktionelle Fehlbelastung und marginale Entzündung Dtsch.zahnärztl.Z. 31, 422-424 (1976)
4. MARTHALER, T.M. und ENGELBERGER, A.: Beziehungen zwischen Entzündungsgrad der Gingiva, Knochenschwund und Zahnbeweglichkeit bei parodontalen Erkrankungen Helv.odont.Acta 8, 26-33 (1964)
5. MATHIS, H. und HIELSCHER, W.: Objektive Röntgenologie bei Parodontopathien Zahnärztl.Prax. 11, 241-242 (1960)
6. MÜHLBRADT, L.: Entzündung, Zahnfleischtaschen und Zahnlockerungen in ihren statistischen Beziehungen Dtsch.zahnärztl.Z. 27, 311-316 (1972)
7. MÜHLEMANN, H.R.: Die Messung der Zahnbeweglichkeit als diagnostisch-prognostisches Hilfsmittel in der Parodontologie Parodontologie 4, 111-119 (1950)
8. MÜHLEMANN, H.R.: Die physiologische und pathologische Zahnbeweglichkeit Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 61, 1-67 (1951)
9. MÜHLEMANN, H.R.: Die praktische Periodontometrie Öst.Z.Stomat. 50, 101-106 (1953)
10. MÜHLEMANN, H.R. und ZANDER, H.A.: Tooth mobility (I). The measuring method. Initial and secondary tooth mobility J.Periodont. 25, 22-29 (1954)

11. MÜHLEMANN, H.R. und ZANDER, H.A.: Tooth mobility (III). The mechanism of tooth mobility
J.Periodont. 25, 128-137 (1954)
12. MÜHLEMANN, H.R.: Zum Messen der Zahnbeweglichkeit am Lebenden
Zahnärztl.Welt 10, 407-409 (1955)
13. MÜHLEMANN, H.R., WARTMANN, P. und MARTHALER, T.M.: Zahnbeweglichkeit, intraalveoläre Wurzellänge, biologischer Faktor
Parodontologie 9, 24-27 (1955)
14. MÜHLEMANN, H.R., HERZOG, H. und VOGEL, A.: Occlusal trauma and tooth mobility
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 66, 527-544 (1956)
15. MÜHLEMANN, H.R. und FEHR, C.: Zur Beurteilung des Parodonts vermittels Zahnbeweglichkeitsmessungen
Dtsch.zahnärztl.Z. 11, 634-643 (1956)
16. MÜHLEMANN, H.R.: Quantitative Parodontaldiagnostik
Zahnärztl.Rdsch. 66, 71-74; (1957)
17. MÜHLEMANN, H.R.: Einfluss der experimentellen Taschenbildung auf die Zahnbeweglichkeit
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 70, 687-694 (1960)
18. MÜHLEMANN, H.R. und RATEITSCHAK, K.H.: Mechanische und elektronische Zahnbeweglichkeitsmessungen
Dtsch.zahnärztl.Z. 18, 1352-1359 (1963)
19. MÜHLEMANN, H.R. und RATEITSCHAK, K.H.: Zur erhöhten Zahnbeweglichkeit
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 75, 85-93 (1965)
20. MÜHLEMANN, H.R. und SON, S.: Gingival sulcus bleeding a leading symptom in initial gingivitis
Helv.odont.Acta 15, 107-113 (1971)
21. POSSELT, U. und MAUNSBACH, O.: Clinical and roentgenographic studies of trauma from occlusion
J.Periodont. 28, 192-196 (1957)

22. RASPE, R.: Zahnbeweglichkeitsmessungen mit den beiden von Mühlemann angegebenen Apparaturen. Ein Beitrag zur praktischen Periodontometrie
Med.Diss. Tübingen (1956)

23. RATEITSCHAK, K.H., DOSSENBACH, W.F. und MÜHLEMANN, H.R.: Der grosse Parodontosestatus
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 76, 621-640 (1966)

24. RENGGLI, H.H. und MÜHLEMANN, H.R.: Zahnbeweglichkeit, marginale Parodontalentzündung und okklusales Trauma
Parodontologie 24, 39-48 (1970)

25. SAVDIR, S.: Die Methoden der Zahnbeweglichkeitsmessungen Ein neues elektronisches Messgerät
Med.Diss. München (1963)

26. SCHEI, O., WAERHAUG, J., LOEVDAL, A. und ARNO, A.: Alveolar bone loss as related to oral hygiene and age
J.Periodont.30, 7-16 (1959)

27. SCHUSTER, H.O.: Untersuchungen über die physiologische und pathologische Zahnbeweglichkeit der unteren Frontzähne in und mit den Alveolen
Med.Diss. Mainz (1953)

28. SON, S., HOTZ, P. und MÜHLEMANN, H.R.: The effect of marginal gingivitis on tooth mobility
Helv.odont.Acta 15, 103-106 (1971)

29. SONNABEND, E.: Zur Verbesserung des Röntgenstatus bei Parodontopathien
Dtsch.zahnärztl.Z. 21, 217-221 (1966)

30. SONNABEND, E.: Das Röntgenbild bei den marginalen Parodontopathien
Zahnärztl.Prax. 24, 125-130 (1973) 153-157 (1973)

31. STOCKLIN, W.: Parodontaler Knochenschwund und Zahnbeweglichkeit oberer Frontzähne
Med.Diss. Zürich (1968)

32. VOLLNER, W.H. und RATEITSCHAK, K.H.: Influence of occlusal adjustment by grinding on gingivitis and mobility of traumatized teeth
J.clin.Periodont. 2, 113-125 (1975)

33. WALTER, H.G.: Bedeutung der intraoralen Röntgenaufnahmen in der Parodontal Diagnostik
Zahnärztl.Prax. 26, 424-429 (1975)

Herrn Prof. Dr. E. Sonnabend möchte ich herzlich für die Überlassung des Themas und die Anregungen zu meiner Arbeit danken.
Ausserdem danke ich Herrn Priv. Doz. Dr. G. Dietz für seine hilfreiche Unterstützung und dafür, dass ich zu jeder Zeit mit meinen Fragen zu ihm kommen durfte.
Schliesslich möchte ich noch meiner Mutter danken, die alle meine Entwürfe und auch letztendiglich die fertige Arbeit in Schreibmaschinenschrift setzte.

Lebenslauf

Am 2. April 1954 wurde ich als erster Sohn des Bauingenieurs Alfred Käufl und seiner Ehefrau Gerda geb. Mertin in München geboren.
Nach vierjährigem Volksschulbesuch in Lenggries wurde ich 1964 in das Gymnasium Bad-Tölz aufgenommen. Ich besuchte dort den mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig und absolvierte die Reifeprüfung am 8. Juni 1973. Im Herbst desselben Jahres nahm ich mein Studium der Zahnmedizin an der Universität München auf. Am 16. Oktober 1974 schloss ich die naturwissenschaftliche-zahnärztliche Vorprüfung und am 12. April 1976 die zahnärztliche Vorprüfung mit Erfolg ab. Die zahnärztliche Prüfung habe ich am 21. Februar 1979 erfolgreich zum Abschluss gebracht.

März 1979